

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-215367

(43)Date of publication of application : 30.07.2003

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 2002-016659

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 25.01.2002

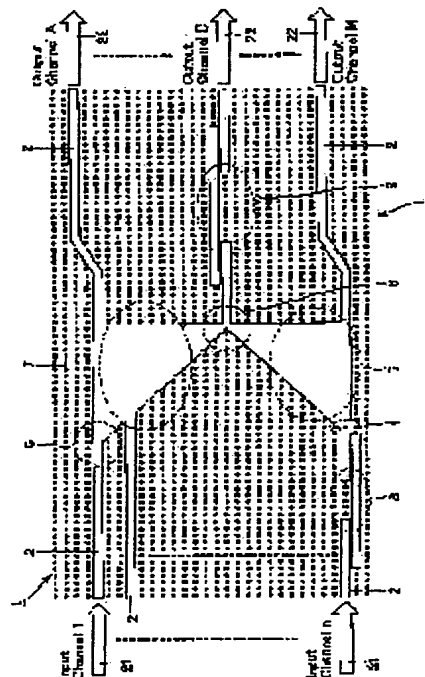
(72)Inventor : SUGIDACHI ATSUSHI

## (54) OPTICAL DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical device in which a waveguide having a special function is formed in photonic crystal by utilizing properties peculiar to the photonic crystal.

**SOLUTION:** With respect to a waveguide device having a waveguide 2, which is formed no so as to meet the arrangement of a periodical structure formed by two or more kinds of light mediums so that light having a frequency of the photonic gap area of photonic crystal 1 may transmit, in the photonic crystal 1 having the periodical structure formed, optical mediums (optical nonlinear mediums) 3, 4, 5, 6, and 7 having not only linear responsiveness to incident energy of a photoelectric field but also nonlinear responsiveness of second or higher orders are arranged in a prescribed part of the waveguide.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.11.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 27.09.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-215367

(P2003-215367A)

(43) 公開日 平成15年7月30日 (2003.7.30)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テ-マコード\* (参考)

Z 2 H 0 4 7

N

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2002-16659 (P2002-16659)

(22) 出願日 平成14年1月25日 (2002.1.25)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 杉立 厚志

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100064746

弁理士 深見 久郎 (外4名)

Fターム (参考) 2H047 KA03 LA11 LA18 NA01 NA02

NA07 NA08 QA02 QA05 RA08

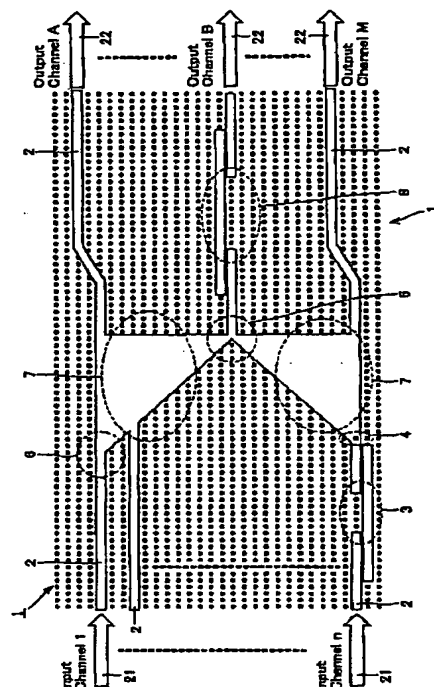
TA01

(54) 【発明の名称】 光デバイス

(57) 【要約】

【課題】 フォトニック結晶に特有な性質を利用してフォトニック結晶中に特殊な機能もたせた導波路を形成した光デバイスを提供する。

【解決手段】 2種類以上の光の媒質が周期構造を形成してなるフォトニック結晶1の中に、フォトニック結晶のフォトニックバンドギャップ域の周波数を有する光を通すように上記周期構造の配列を満たさないように形成された導波路2を有する導波路装置であって、導波路の所定部分に、光電界の入射エネルギーに対して線形な応答のみではなく2次以上の高次の非線形応答性を有する光学媒質 (光学非線形媒質) 3, 4, 5, 6, 7 が配置されている。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 2種類以上の光の媒質が周期構造を形成してなるフォトニック結晶の中に、前記フォトニック結晶のフォトニックバンドギャップ域の周波数を有する光を通すように前記周期構造の配列を満たさないように形成された導波路を有する導波路装置であって、前記導波路の所定部分に、光電界の入射エネルギーに対して線形な応答のみではなく2次以上の高次の非線形応答性を有する光学媒質（光学非線形媒質）が配置されている、光デバイス。

【請求項2】 前記光学非線形媒質が、前記導波路を伝播する光の波長を変換する波長変換器として機能する、請求項1に記載の光デバイス。

【請求項3】 前記フォトニック結晶がフォトニック結晶ファイバ（PCファイバ）として形成されており、前記導波路がそのPCファイバのコアとして配置されている、請求項1または2に記載の光デバイス。

【請求項4】 前記光学非線形媒質は、前記導波路が単純直線連続部以外の特異部、またはその特異部の前段部に位置して、その光学非線形媒質に向って入射してくる光の光路を変えて出射させる光路変換装置として機能する、請求項1～3のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項5】 前記光学非線形媒質は、前記導波路が単純直線連続部以外の特異部、またはその特異部の前段部に位置して、その光学非線形媒質に向って入射してくる光の光束を変化させて出射させる光束変換装置として機能する、請求項1～4のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項6】 前記光学非線形媒質は、2つ以上の導波路が会合してそれより少ない数の導波路が出て行く会合部に配置され、前記2つ以上の導波路を伝播してきた光を、前記出て行く導波路へと曲げて出射する、請求項1～5のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項7】 前記光学非線形媒質は、1つの導波路が2つ以上の導波路に分かれて出て行く分岐部に配置されている、請求項1～5のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項8】 前記光学非線形媒質は、外部からの制御手段によって非線形の度合いを制御して変化させることができる媒質である、請求項1～7のいずれかに記載の光デバイス。

【請求項9】 前記非線形性媒質が、電気光学材料、音響光学材料、温度駆動性材料および応力駆動性材料のいずれかによって構成されている、請求項8に記載の光デバイス。

【請求項10】 前記光学非線形媒質が前記外部からの制御手段によって光路切換および波長変換の少なくとも一方を制御して行う光スイッチとして機能する、請求項8または9に記載の光デバイス。

【請求項11】 前記光学非線形媒質が前記外部からの制御手段によって光路切換および波長変換の少なくとも一方を制御して行う光ルーターとして機能する、請求項

8または9に記載の光デバイス。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、フォトニック結晶を用いた光デバイスに関するものである。

**【0002】**

【従来の技術】 フォトニック結晶(Photonic Crystal)とは、周期的な屈折率分布を有する構造体であり、空間における周期を光の波長程度にしたものである。このため、結晶中の電子エネルギー構造解析に用いられたバンド理論を適用して、結晶中の光について各種の光学特性の解明が試みられている。とくに近年の微細加工技術の進展により光の波長のオーダーの微細加工が可能となり、理論だけでなく、理論の実証や実験から理論へのフィードバックを行うことができるようになった。このため、理論と実験とが活発に刺激しあい世界的に研究開発が盛んになってきた。

【0003】 フォトニック結晶においては、結晶中の電子のバンド構造との類似性から光の分散関係を意味するフォトニックバンドという概念が非常に重要である。これは、電子の (e1)エネルギー  $E$  と、(e2)運動量  $p$  と、(e3)シュレディンガー方程式とに対して、光の (w1)周波数  $\omega$  と、(w2)波数  $k$  と、(w3)波動方程式とを対応させることによって、UCLA (University of California L A) の Y a b l o n o v i t c h によって導入された概念である。この概念を用いて、あらゆる方向に光の伝播が禁止される禁制帯、すなわちフォトニックバンドギャップ(PBG: Photonic Band Gap)が予測され、その予測に基いてフォトニック結晶が作製され、PBGの存在が実証されている。

【0004】 上記のようなフォトニック結晶中に周期構造を乱す欠陥を導入すれば、周囲のフォトニック結晶では許容されないPBGに含まれる波数ベクトルの光がその欠陥部に局在することが可能となる。その結果、たとえば、欠陥部を線状に構成することにより導波路として機能させることができる。このような導波路は、従来の導波路と異なり、大きな分散特性を示したり、一部の材料の誘電率を変えることにより導波機構を変えることができる。また、従来の導波路と異なり、ロスが少ない直角曲げ導波構造を実現することができる。さらに、導波光を電磁界により制御できる自由度が大きいため、モード断面の形状を任意に変えたり、モード断面のサイズの大小型化等が可能である。これらの性質を利用して、非線形効果を増大させたり、既存の光学非線形媒質をフォトニック結晶と組み合わせることにより、フォトニック結晶に高度の変調性および制御性を持たせることができる。この結果、従来と異なる光デバイスが実現することが期待されている。

**【0005】**

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、フォ

ニック結晶を用いて発光、増幅および変調の機能を持たせた光デバイスを構成した例（特開平11-330619号公報）はあるが、フォトニック結晶中に形成された導波路において、フォトニック結晶に特有の性質を利用して導波路に光学非線形性を持たせた例、または非線形性を増強した例は知られていない。

【0006】本発明は、フォトニック結晶に特有な性質を利用してフォトニック結晶中に特殊な機能もたせた導波路を形成した光デバイスを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の光デバイスは、2種類以上の光の媒質が周期構造を形成してなるフォトニック結晶の中に、フォトニック結晶のフォトニックバンドギャップ域の周波数を有する光を通すように上記周期構造の配列を満たさないように形成された導波路を有する導波路装置である。この導波路装置には、導波路の所定部分に、光電界（電場）の入射エネルギーに対して線形（1次）な応答のみではなく2次以上の高次の非線形応答性を有する光学媒質（光学非線形媒質）が配置されている（請求項1）。

【0008】この光学非線形媒質によって光の波長を変化させたり、光学非線形媒質とそれに連続する上記導波路との界面における屈折角が波長ごとに相違するので、光路も変化させることができる。このため、フォトニック結晶内の導波路に波長変換装置や光路変換装置をモノリシックに造り込むことができるので、小型化、および仕様を規格化することにより大量生産化が可能となる。なお、フォトニック結晶は、周波数と波長との関係において非線形関係を有することは周知のことである。本発明は、このようなフォトニック結晶に特徴的な非線形関係を利用することは当然予定しているが、その他に上記の光学非線形媒質を備えるものである。

【0009】なお、上記周期構造の配列を満たさないように形成された導波路とは、フォトニック結晶の周期性を乱す構造であれば何でもよく、たとえば母材のフォトニック結晶に格子欠陥が導入されたものでもよいし、他の元素からなる材料であってもよい。

【0010】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質が、導波路を伝播する光の波長を変換する波長変換器として機能することができる（請求項2）。

【0011】本発明の光デバイスでは、フォトニック結晶がフォトニック結晶ファイバ（PCファイバ）として形成されており、導波路がそのPCファイバのコアとして配置されることができる（請求項3）。

【0012】この構成により、各種の機能を一体化された機能性光ファイバを得ることが可能となる。

【0013】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質は、導波路が単純直線連続部以外の特異部、またはその特異部の前段部に位置して、その光学非線形媒質に向っ

て入射してくる光の光路を変えて出射させる光路変換装置として機能することができる（請求項4）。

【0014】上記の単純直線連続部以外の特異部とは、導波路の屈曲部、1本の導波路が複数本の導波路に分岐する分岐部、逆に複数本の導波路がそれより少ない数、とくに1本の導波路にまとめられる合流部、複数の導波路が交差する交差部などが該当する。この構成により、上記の特異部で、光の光路を任意に変化させることが可能となる。この結果、導波路に論理性の機能をもたせたり、複雑な通信信号処理を行なうことが可能となる。

【0015】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質は、導波路が単純直線連続部以外の特異部、またはその前段部に位置して、その光学非線形媒質に向って入射してくる光の光束を変化させて出射させる光束変換装置として機能することができる（請求項5）。

【0016】この構成により、光束を拡大したり縮小したり導波路の構造に合わせて光束を変化させることができる。

【0017】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質は、2つ以上の導波路が会合してそれより少ない数の導波路が出て行く会合部に配置され、2つ以上の導波路を伝播してきた光を、出て行く導波路へと曲げて出射することができる（請求項6）。

【0018】この構成により、導波路内にモノリシックに合波部を容易に小型化して形成することができる。

【0019】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質は、1つの導波路が2つ以上の導波路に分かれて出て行く分岐部に配置されることができる（請求項7）。

【0020】この構成により、導波路内にモノリシックに分岐部を容易に小型化して形成することができる。

【0021】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質を、外部からの制御手段によって非線形の度合いを制御して変化させることができる媒質とすることができる（請求項8）。

【0022】この構成により、外部から非線形の程度を制御して変えることができるので、この光デバイスが発現する機能や、この光デバイスが用いられる用途の範囲を大きく拡大させることが可能となる。

【0023】本発明の光デバイスでは、非線形性媒質が、電気光学材料、音響光学材料、温度駆動性材料および応力駆動性材料のいずれかによって構成されることができる（請求項9）。

【0024】この構成により、電圧印加、音波印加、電流印加などを用いて非線形性を高速でかつ高信頼の応答性をもって制御することが可能となる。

【0025】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質が外部からの制御手段によって光路切換および波長変換の少なくとも一方を制御して行う光スイッチとして機能することができる（請求項10）。

【0026】この構成により、外部から光学非線形媒質

に信号を印加して非線形性を発現させ任意の方向に光の進路を切り換え、光スイッチとして用いることができる。この構成によれば、光の進路の切り換えに機械的な機構を介在させることがないので、高速化、小型化、高信頼性化、生産性向上などを得ることができる。

【0027】本発明の光デバイスでは、光学非線形媒質が外部からの制御手段によって光路切換および波長変換の少なくとも一方を制御して行う光ルーターとして機能することができる（請求項11）。

【0028】この光ルーターについても、機械的な機構を介在させることがないので、高速化、小型化、高信頼性化、生産性向上などを得ることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】次に図面を用いて本発明の実施の形態について説明する。

【0030】（実施の形態1）図1は、本発明の実施の形態1におけるフォトニック結晶構造を集積化した光デバイスである。図1に示す結晶体の全体が、フォトニック結晶を構成する屈折率が周期的に変化する構造体1であり、その構造体1の中に線状の欠陥を形成して導波路2として機能させている。導波路2に対して、入射信号チャンネルnから入射した信号光21は、導波路内部または隣接する部位3の非線形効果を用いて波長変換される。この際、フォトニック結晶の高い分散性を用いて位相整合条件を満たす構造とする。または、導波光の断面形状を小さくしたり、導波方向で電界分布を局在化することにより電界強度を上げて波長変換効率を高める。

【0031】波長変換材料としては、GaAsやGaP等の半導体材料や、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、KTP（KTiOPO<sub>4</sub>）、KDP（KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>）、BBO（β-BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）、LBO（LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>）、PBO、CLBO（CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>）等の誘電体材料、または従来は非線形効果が非常に小さいために非線形材料としては注目されていなかったSi、SiO<sub>2</sub>などの各種材料を用いることができる。また、フォトニック結晶1自身も上記の材料以外にInP、AlGaAs、InGaAsP、GaN、InGaAsNなどの半導体材料や各種の誘電体、および空孔を導入することによる空気を含む各種気体、ポリマー類の有機材料など、透光体であって屈折率を周期的に変えることができればどのような材料でも用いることができる。

【0032】上記の構成により、従来のバルク材料では難しかった導波路と位相整合がとれる非線形光学材料の選択が可能となる。また、導波光の電界分布を局在化することにより波長変換効率を向上させることができる。さらに、このようなフォトニック結晶を用いて波長変換デバイスを形成することにより、従来の波長変換デバイスに比べて大幅な小型化を達成することができる。

【0033】（実施の形態2）本発明の実施の形態2では、上記の実施の形態1の光デバイスにおいて、非線形

光学材料部3の電気光学的性質、音響光学的性質、または材料の光学特性の温度依存性や応力依存性を用いて、波長変換のオンとオフとを実現する。具体的には、電気光学効果、音響光学効果、または温度や応力を変化させて屈折率を変化させることにより、位相整合条件のオンとオフとを行う。または、ビームスポットサイズを拡大または縮小して非線形効果のオンとオフとを行う。

【0034】この結果、上記した実施の形態1における効果に加えて、可変機能をもつ波長変換デバイスを得ることが可能となる。

【0035】（実施の形態3）本発明の実施の形態3では、実施の形態1および2において、波長変換部位3の導波路断面を通常の導波構造よりも小さくすることにより、非線形光学効果を増強する。この結果、より少ない屈折率変調により、同程度の非線形光学効果を得ることができる。

【0036】（実施の形態4）本発明の実施の形態4では、フォトニック結晶の大きな分散性を利用した光路変更部位4を、フォトニック結晶中に設けた点に特徴がある。図1において、インプットチャンネルnから入射した信号光は、波長変換部位3を通過した後、波長変換の有無に関係なく、光路変更部位4で光路変更を受ける。この光路変更は、フォトニック結晶の大きい分散特性を生かし、屈折率が周期変化する構造体の一部の屈折率を変化させることにより実現される。このようなフォトニック結晶の一部の屈折率の変化は、局所的にフォトニック結晶構造を変えることに相当する。わずかな屈折率の変化、すなわちこの部位における信号光の波長の変化によって光路が大きく変わる現象は、フォトニック結晶におけるスーパープリズム現象として知られている。本実施の形態では、このスーパープリズム現象を利用している。したがって、本実施の形態では、この光路変更部位4にとくに非線形光学材料を含んでいる必要はなく、電気光学効果、音響光学効果、または温度変化や応力変化のうちのいずれかにより屈折率を変化することができればよい。

【0037】本実施の形態における光路変更構造を用いることにより、屈折率の変調のみで光路を大きく変更できる機能、すなわち光の分波を容易に実現することができるようになる。さらに、本実施の形態における光路変更構造を、上記のような屈折率変調による波長変換デバイスと一体化することにより、従来の光デバイスに比較して大幅な小型化を実現することができる。

【0038】（実施の形態5）本発明の実施の形態5では、実施の形態4における光路変更部位4を固定した材料としておき、実施の形態2において説明した波長変換部位3において所望の波長に変換する。この波長変換により波長を変換された信号光は、光路変更部位4の高い分散性により、波長に応じた光路変更性能を実現して光路を変更する。

【0039】この結果、屈折率の変調による波長変換機構と、フォトニック結晶の高分散性とを用いて光の分波を実現することができる。さらに、上記のような屈折率の変調による光路変換デバイスを一体的に形成することにより、従来に比べて大幅な小型化を実現することができる。

【0040】（実施の形態6）本発明の実施の形態6では、光路変更部位5において光を合波するためにフォトニック結晶の高分散性を用いる。これは、実施の形態4における光の分波と逆の用い方である。

【0041】本実施の形態では、入射信号チャンネル1～nの各信号光路が光路変更部5に到達した後、出射信号チャンネルBに出射されるように、光路変更部5の屈折率を変化させ、したがって分散特性を変化させる。この場合も電気光学効果、音響光学効果、温度変化および応力変化のいずれかにより屈折率をわずかに変化させてフォトニック結晶の高分散特性を用いて、出射信号チャンネルBへ導光する。波数の異なる光、したがって波長が異なり、光路変更部位では光路の異なる光、をコリメートするフォトニック結晶のスーパーコリメータ現象として知られる特性も活用することができる。このスーパーコリメータ現象の活用により、小さい屈折率変化により光の合波機能を実現することができる。

【0042】この結果、屈折率の変調のみで光路を大きく変える機能、すなわち光の合波を実現することができる。さらに、このような屈折率変調による光路変更デバイスを一体的に形成することにより、従来に比べて大幅な小型化を実現することが可能となる。

【0043】（実施の形態7）本発明の実施の形態7では、光路変更部位5を可変ではなく固定した屈折率とする。そして、所望の光路変更が光路変更部位5で得られるような波数ベクトルとなるように、前段の波長変更部4で波長変更を行う。

【0044】この結果、屈折率の変調のみで光路を大きく変化させる機能、すなわち光の分波を実現することができる。さらに、このような屈折率変調による光路変更デバイスを一体的に形成することにより、従来に比べて大幅な小型化を実現することができる。

【0045】（実施の形態8）本発明の実施の形態8では、上記の各実施の形態における光路変更機能や波長変換機能を総合した光信号切換装置または光ルーターについて説明する。入射信号チャンネル1に複数の波長信号が入力し、光路変更部6により波長に応じて光路を切り

換えられる。また、出射信号チャンネルBに示すように、所望のポートに出力したい信号光が、もし所望の波長と異なる場合には波長変換部7により所望の波長に変換した上で出力する。

【0046】この結果、屈折率の変調のみで光信号の進路を切り換える光デバイスを実現することができる。さらに、このような屈折率変調による光デバイスを一体的に設けることにより従来に比べて大幅な小型化を実現することが可能となる。

【0047】上記において、本発明の実施の形態について説明を行ったが、上記に開示された本発明の実施の形態は、あくまで例示であって、本発明の範囲はこれら発明の実施の形態に限定されない。

【0048】たとえば、光学非線形媒質による光路変換部は、波長変換を大なり小なり伴うものであり、上記の光学非線形媒質は一方の機能のみを発現するわけではない。現に本発明の実施の形態では、波長変換機能と光路変換機能との両方を発揮させるように光学非線形媒質を配置した光デバイスも紹介した。上記の一方の機能のみを説明した本発明の実施の形態においては、その機能のみをもっぱら利用したのであって、他方の機能が少しも現れなかったということの意味しない。本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

【0049】

【発明の効果】本発明の光デバイスを用いることにより、光信号の導波路に非線形性を示す媒質を配置して波長変換や光路変更の機能を持たせることができる。このような光学非線形媒質は外部から電圧印加などにより非線形性を制御して変えることができ、機械的な機構を介在させることがないので、小型、高速、高信頼性の光スイッチや光ルーターとして用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態における光デバイスのフォトニック結晶中に配置された光学非線形媒質を示す構成図である。

【符号の説明】

1 フォトニック結晶、2 導波路、3 波長変換部（光学非線形媒質）、4 光路変更部（分波部）、5 光路変更部（合波部）、6 光路変更部（分波部）、7 複数光路の導波路部、21 信号光（入射光）、22 信号光（出射光）。

【図 1】

